



Offenlegungsschrift
DE 197 45 669 A 1

51 Int. Cl. 6:

G 01 N 23/222

G 01 N 33/22

G 01 T 3/00

G 01 V 5/00

21 Aktenzeichen: 197 45 669.3
22 Anmeldetag: 17. 10. 97
43 Offenlegungstag: 6. 5. 99

71 Anmelder:

Bruker Saxonia Analytik GmbH, 04318 Leipzig, DE

72 Erfinder:

Heller, Wolfgang, 04435 Schkeuditz, DE;
Grigorjewitsch Tito, Boris, Nowosibirsk, RU;
Arnold, Gerd, 04109 Leipzig, DE

56 Entgegenhaltungen:

US 52 00 626
EP 02 27 497 A1

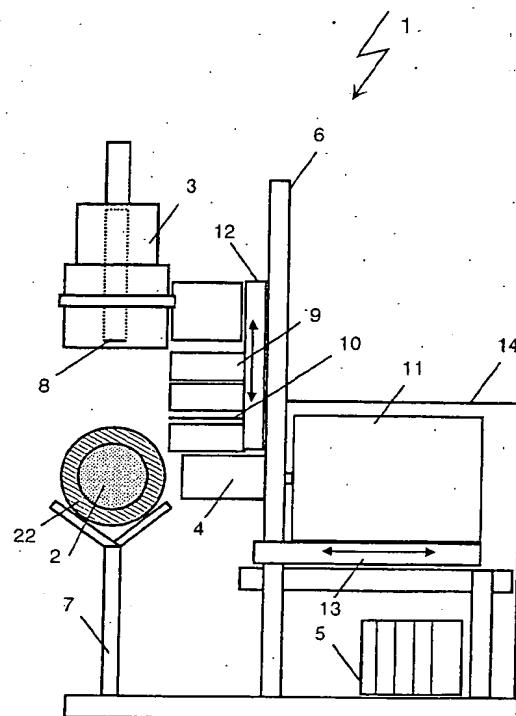
MUSIOL, G. et al.: Kern- und Elementarteilchenphysik, VCH, Weinheim 1988, Kapitel 12.3.5;
BROWN, D.R. et al.: Cargo inspection system based on pulsed fast neutron analysis, Nucl.Instr. and Meth. in Phys.Res. B 99 (1995) 753-756;
VOURVOPOULOS, G. et al.: A pulsed fast-thermal neutron system for the detection of hidden explosives, Nucl.Instr. and Meth. in Phys.Res. B79 (1993) 585-588;
WWD Nr. 150, 1994;
"Neutronenaktivierungsanalyse";

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Analysensystem zur zerstörungsfreien Identifikation von Sprengstoff und chemischen Kampfstoffen

55 Die Erfindung betrifft ein Analysengerät zur Identifikation von Sprengstoffen und/oder chemischen Kampfstoffen, mit einer Neutronenquelle, die die Emission von charakteristischen γ -Quanten bewirkt, wobei das Analysensystem aus einem mobilen Rahmen besteht, an dem die Neutronenquelle und der Detektor sowie eine Halterung für das Objekt montiert sind mit einem Neutronengenerator, der als Target Deuterium enthält und durch periodisch wiederholten, gepulsten Beschuß des Targets Neutronenpulse erzeugt und so angesteuert wird, daß kurze Neutronenpulse emittiert und periodisch wiederholt werden, wobei der Detektor so angesteuert wird, daß er aus dem Objekt aufgrund von inelastischer Neutronenstreuung und Neutroneneinfang prompt emittierte γ -Quanten innerhalb mindestens zweier aufeinanderfolgender zeitlicher Meßfenster im Zyklus nachweist, wobei das erste Meßfenster zeitlich mit dem Neutronenpuls zumindest teilweise überlappt und das sich anschließende zweite Meßfenster dies nicht tut, wodurch im ersten Meßfenster im wesentlichen γ -Quanten aufgrund von inelastischer Neutronensteuerung und im zweiten Meßfenster aufgrund von Neutroneneinfang detektiert werden.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Analysensystem zur Identifikation des Inhalts von Objekten, insbesondere von Sprengstoffen und/oder chemischen Kampfstoffen, mit einer Neutronenquelle, die Neutronen erzeugt, die auf das Objekt einwirken und die Emission von charakteristischen γ -Quanten aus Atomkernen des Inhalts des Objekts bewirken, mit einem Detektor zum Nachweis der emittierten γ -Quanten und einer Meß- und Signalverarbeitungselektronik zur Zuordnung der detektierten Signale zu bestimmten Atomkernen und zur Erkennung bestimmter chemischer Verbindungen, die diese Atomkerne enthalten.

Ein solches Analysensystem ist aus der Schrift "Neutronenaktivierungsanalyse" der wehrwissenschaftlichen Dienststelle der Bundeswehr für ABC-Schutz (WWD Nr. 150, 1994) bekannt, auf die vollinhaltlich verwiesen wird.

Insbesondere im Zusammenhang mit dem weltweiten Problem der Entsorgung chemischer Kampfstoffe und Munition, aber auch der Identifikation von Sprengstoffen, sind Verfahren zur zerstörungsfreien Analyse bzw. Identifikation von sehr großem Interesse.

Ein mögliches Verfahren ist dabei die Neutronenaktivierungsanalyse, die anhand der nachgewiesenen Elementkonzentrationen beispielsweise verschiedene Spreng- und Kampfstoffe unterscheiden kann.

Eine Neutronenquelle setzt dabei Neutronen frei, die in das zu untersuchende Objekt eindringen und im Inneren mit den Atomkernen wechselwirken. Die Neutronenaktivierungsanalyse nutzt die infolge der Kernreaktion ausgesandte γ -Strahlung zur Ermittlung der Zusammensetzung des Untersuchungsobjekts, bzw. dessen Inhalts, aus. Durch die Kernreaktionen werden γ -Quanten diskreter Energie oder Energien ausgesandt, die spezifisch für die an der Kernreaktion beteiligten Elementatome sind. Durch eine energiedispersive Detektion der γ -Quanten und entsprechende Auswertung des Energiespektrums erfolgt die Elementanalyse z. B. eines Behälterinhalts. Die Analyse ist unabhängig vom Aggregatzustand des Behälterinhalts, auch die chemische Zusammensetzung (eventuelle Zersetzungssprozesse infolge der Alterung) oder räumliche Trennung von Substanzen haben wenig oder keine Auswirkung auf das Meßergebnis.

Ein Überblick über die Grundlagen der vorliegenden Erfindung findet sich im Buch "Kern- und Elementarteilchenphysik" von Musiol et al. (VCH, 1988), dort Kapitel 12.3 "Stoff- und Prozeßanalyse mit Kernstrahlungen", insbesondere 12.3.5. "Aktivierung und Anregung".

In der eingangs genannten Druckschrift ist zunächst dargelegt, daß es grundsätzlich zwei Klassen der Neutronenaktivierungsanalyse (NAA) gibt, die verzögerte klassische NAA und die prompte γ -Aktivierungsanalyse (PGAA). Bei der ersten Methode wird das Objekt mit Neutronen bestrahlt und dadurch Kerne aktiviert und in einem zeitlich und i. a. auch räumlich getrennten zweiten Schritt die von den aktivierte Kernen emittierte γ -Strahlung gemessen. Zwischen diesen beiden Schritten liegt eine Warte-, bzw. Transportzeit von in der Regel mehreren Minuten bis Stunden, mindestens jedoch einigen Sekunden. In einem Ausführungsbeispiel wird untersuchtes Probenmaterial über eine Rohrpost von der Neutronenquelle zum Detektor transportiert (dort Abb. 6). Durch die räumliche Trennung vermeidet man eine direkte Einwirkung der Neutronenquelle auf den Detektor. Allerdings wird die Probe durch diese Behandlung radioaktiv. Bei der zweiten Methode werden die unmittelbar bei der Neutronenstreuung bzw. -einfang emittierten γ -Quanten in einem einstufigen Prozeß nachgewiesen. Dies hat den Vorteil, daß fast alle Elemente prinzipiell nachgewiesen werden können, da man nicht auf instabile Isotope angewiesen ist.

Allerdings müssen jetzt Quelle und Detektor nahe beieinander stehen, was zu Streustrahlproblemen führt.

Als Neutronenquellen kommen grundsätzlich Kernreaktoren, Neutronengeneratoren, bei denen i. a. Deuteronen auf ein Target aus Tritium geschossen werden (stationär) sowie Isotopenneutronenquellen (mobil) in Frage. In den Abb. 8a und 8b dieser Schrift sind Anordnungen mit Isotopenquellen dargestellt, die auf thermischem Neutroneneinfang (8a) bzw. inelastischer Neutronenstreuung (8b) basieren.

10 Die beschriebenen Systeme sind entweder stationär und zumindest was die Quelle betrifft an eine entsprechende Einrichtung gebunden oder können mobil eingesetzt werden, enthalten dann allerdings eine radioaktive Isotopenquelle. Auch die üblichen Neutronengeneratoren verwenden mit Tritium ein radioaktives und für den Menschen potentiell sehr gefährliches Material.

15 Gerade für einen mobilen Einsatz zur Untersuchung von Objekten beispielsweise in Munitionslagern, wo die Neutronenquelle mit verschiedenen Verkehrsmitteln transportiert werden muß, stellt jede radioaktive Komponente eine Gefahr dar, was zu erhöhtem Sicherheitsaufwand führt oder gewisse Einsätze schlachtweg unmöglich werden läßt.

20 Es besteht daher der Bedarf nach einem mobilen Analysensystem der o. g. Art, bei dem diese Gefahr reduziert oder eliminiert ist.

25 Die Aufgabe wird dadurch gelöst, daß das Analysensystem aus einem mobilen Rahmen besteht, an dem die Neutronenquelle und der Detektor sowie eine Halterung für das Objekt montiert sind, daß die Neutronenquelle ein Neutronengenerator ist, der als Target Deuterium enthält und durch periodisch wiederholten, gepulsten Beschuß des Targets Neutronenpulse erzeugt und so ansteuerbar ist, daß die Neutronenpulse im Energiebereich um 2,5 MeV von 1 μ s bis 1 ms Dauer, vorzugsweise zwischen 20 μ s und 50 μ s, emittiert und mit einer Zykluszeit zwischen 5 μ s und 100 ms wiederholt werden, daß der Detektor so ansteuerbar ist, daß er aus dem Objekt aufgrund von inelastischer Neutronenstreuung und Neutroneneinfang prompt emittierte γ -Quanten im Bereich zwischen 30 keV und 11 MeV innerhalb mindestens zweier aufeinanderfolgender zeitlicher Meßfenster im Zyklus nachweist, wobei das erste Meßfenster zeitlich mit dem Neutronenpuls zumindest teilweise überlappt und das sich anschließende zweite Meßfenster dies nicht tut, wodurch im ersten Meßfenster im wesentlichen γ -Quanten aufgrund von inelastischer Neutronenstreuung und im zweiten Meßfenster aufgrund von Neutroneneinfang detektiert werden.

30 Durch die Anbringung der Quelle und des Detektors an einem gemeinsamen Rahmen kann das System mobil und kompakt gestaltet werden. Die Verwendung eines gepulsten Neutronengenerators mit einem Deuteriumtarget stellt sicher, daß keine radioaktiven Materialien vorhanden sind und das System bei abgeschaltetem Generator keinerlei Gefahr darstellt. Die Ausnutzung der prompten γ -Aktivierungsanalyse (PGAA) läßt es zu, daß im untersuchten Objekt praktisch keine radioaktiven Isotope erzeugt werden müssen und es auch für die spätere Handhabung in diesem Sinn ungefährlich bleibt. Die Signalaufnahme in zwei Meßfenstern, die weitgehend den beiden ablaufenden Prozessen entsprechen, erhöht die Selektivität und die Genauigkeit der

35 40 45 50 55 60 65 Identifikation bzw. reduziert die Gesamtmeßzeit.

65 Es ist dabei zu beachten, daß es sich trotz der im Mikro- bis Millisekundenbereich verzögerten Detektion im zweiten Fenster nach wie vor um PGAA handelt. Die Verzögerung ergibt sich durch mehrere vorgeschaltete inelastische Streuprozesse, die die Neutronenenergie soweit absenken, daß der Neutroneneinfang ermöglicht wird. Im Energiespektrum des ersten Detektionsfensters dominieren γ -Linien, die inelastischer Neutronenstreuung entsprechen, während im

zweiten Detektionsfenster die γ -Emissionslinien nach einem Neutroneneinfang dominieren. Somit können die γ -Spektren getrennt nach den Kernreaktionstypen ausgewertet werden. Es ergibt sich, daß Überlagerungen von Energielinien aus verschiedenen Kernreaktionstypen weitgehend vermieden werden und besonders die γ -Spektren des zweiten Detektionsfensters einen niedrigen γ -Untergrund aufweisen. Die Linienzuordnung, Peakflächenberechnung und somit die Ermittlung der involvierten Kernarten kann vorteilhaft erfolgen. Typischerweise wird für die Untersuchung eines Objekts über sehr viele Meßzyklen (im ms-Bereich) akkumuliert, so daß sich Gesamtmeßzeiten von Minuten ergeben können. Selbstverständlich kann die Messung automatisch oder halbautomatisch ablaufen. Insbesondere können softwaremäßig Abbruchkriterien vorgesehen sein, sobald eine ausreichende Zuverlässigkeit des Identifikationsergebnisses erreicht ist.

In vorteilhafter Weise ist zwischen Neutronengenerator und Detektor eine Abschirmung gegen direkte γ -Strahlung vorgesehen. Diese eliminiert Streustrahlung, die wegen der räumlichen Nähe sonst ein Problem darstellt. Es hat sich herausgestellt, daß für die beabsichtigten Zwecke eine Abschirmung aus Wolfram am geeignetsten ist. Neben der direkten γ -Einstrahlung in den Detektor können auch Neutronen, die direkt von der Quelle in den Detektor gelangen, Störungen verursachen. Daher ist es weiter bevorzugt, auch eine Abschirmung gegen diese Neutronen vorzusehen, beispielsweise in der Form von Cadmiumplättchen. Da im Cadmium durchaus wieder γ -Quanten erzeugt werden können, ist es besonders bevorzugt, wenn die Cadmiumplättchen weitgehend vollständig von Wolfram umgeben ist, das damit auch die im Cadmium entstandene γ -Strahlung zum Detektor hin abschirmt.

Vorzugsweise ist der Detektor ein Halbleiterdetektor (HPGe) und gekühlt, insbesondere durch Ankopplung an ein Bad aus einer kryogenen Flüssigkeit, z. B. Stickstoff oder durch einen Refrigerator. Grundsätzlich kommt auch eine Peltier-Kühlung in Frage. Durch die Entwicklung zuverlässiger Kleinkühler erscheint die Verwendung von elektrisch betriebenen Refrigeratoren besonders vorteilhaft. Die gekühlten Halbleiterdetektoren haben ein wesentlich besseres Auflösungsvermögen als Szintillationsdetektoren.

An den Detektor schließt sich eine elektronische Verstärkerinheit mit i.a. Vorverstärker, Hauptverstärker und ADC, ein Vielkanalanalysator und ein Rechner (PC) mit Auswertesoftware zur Peak-Analyse der aufgenommenen γ -Spektren an. Der Rechner kann auch die Steuerung des gesamten Meßvorgangs übernehmen, d. h. im wesentlichen die Puls-längen, Zykluszeiten, Gesamtmeßzeit, Verstärkereinstellungen, usw. vorgeben.

In einem Speicher des Rechners sind für die relevanten Kernprozesse die Peakpositionen und weitere Parameter vorgegebener Elemente abgespeichert. Vorzugsweise greift die Analyse der gemessenen γ -Spektren auf wenigstens zwei der Elemente Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Aluminium, Fluor, Phosphor, Schwefel, Chlor oder Arsen zurück, die für viele chemische Kampfstoffe bzw. Sprengstoffe charakteristisch sind.

Besonders bevorzugt ist, daß am Rahmen des mobilen Analysensystems Justiervorrichtungen für den Neutronengenerator und den Detektor vorgesehen sind. Damit kann in einem kompakten Gerät immer die für die beabsichtigte Messung optimale Geometrie eingestellt werden. Vorzugsweise sind auch die Abschirmung und/oder die Probenaufnahme justierbar.

Rahmen, Elektronik und Detektorkühlung sind vorzugsweise zumindest teilweise in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Auch der Rechner kann im Gehäuse inte-

griert sein, aber auch der Anschluß eines externen Laptops ist eine sinnvolle Alternative. All dies führt zu einem kompakten, robusten und transportablen Gerät, das ohne größere Schwierigkeiten mit allen denkbaren Verkehrsmitteln an wechselnde Einsatzorte gebracht werden kann.

Das Analysengerät kann neben der Abschirmung zwischen Neutronenquelle und Detektor auch eine Abschirmung zum Schutz des Betriebspersonals gegen Neutronen und γ -Strahlung umfassen. Dies erlaubt es, daß sich das Personal während der aktuellen Messung näher am Gerät aufhält.

Die untersuchten Objekte sind vorzugsweise metallummantelte Behälter (Kampfstoffe), Granaten, Bomben oder dergleichen. Die eintretenden Neutronen bzw. die emittierten γ -Quanten durchdringen dabei den Metallmantel.

Es versteht sich, daß die oben geschilderten und die noch weiter unten aufgeführten Merkmale nicht nur in der jeweils genannten Kombination sondern auch in beliebiger anderer Kombination oder in Alleinstellung verwendet werden können, ohne den Rahmen der Erfindung zu verlassen.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen und der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 Schematischer Aufbau der Komponenten eines Ausführungsbeispiels eines erfundungsgemäßen Analysengeräts;

Fig. 2 Schematischer Aufbau eines Ausführungsbeispiels eines erfundungsgemäßen Analysengeräts;

Fig. 3 Pulsdiagramm des Neutronengenerators und der Detektion;

Fig. 4 γ -Spektrum einer S-Lost Simulationssubstanz; a) inelastische Streuung, b) Neutroneneinfang;

Fig. 5 Abschnitt eines Lewisit- γ -Spektrums mit Arsen-Peaks; inelastische Streuung;

Fig. 6 Abschnitt eines Sarin- γ -Spektrums mit Phosphor- und Fluor-Peaks; inelastische Streuung;

Fig. 7 Bildschirmanzeige zur Spektrometersteuerung und graphischer Darstellung der Meßergebnisse.

Im einzelnen zeigt Fig. 1 äußerst schematisch ein Analysensystem 1, das im wesentlichen aus vier Komponenten besteht: einer Neutronenquelle 3, einem γ -Strahlungsdetektor 4 mit Auswertelektronik 5, Abschirmeinrichtungen 9, 10, Halte- und Justiervorrichtungen 6, 7, 12, 13 sind in Fig. 1 der Übersichtlichkeit halber weggelassen.

Die Neutronenquelle 3 ist als Neutronengenerator ausgelegt, bei dem ein Deuteronenstrahl auf ein deuteriumhaltiges Target 8 auftrifft, und dort Neutronen auslöst, die vom Target aus im wesentlichen isotrop mit einer Energie von etwa 2,5 MeV emittiert werden. Durch die Verwendung von Deuterium anstelle des sonst üblichen Tritiums, enthält die Neutronenquelle 3 kein radioaktives Material. Die emittierten Neutronen durchdringen den Mantel 22 eines Objekts 2 und werden von den Atomkernen im Innern des Objekts 2 inelastisch gestreut oder, ggf. nach mehreren Streuprozessen, absorbiert. In beiden Fällen wird von den betroffenen Atomkernen eine charakteristische γ -Strahlung im Bereich zwischen 100 keV und etwa 11 MeV ausgesendet, die von einem γ -Detektor 4 (i.a. HPGe) detektiert wird. Der Detektor 4 ist mit einem Kühlsystem 11 thermisch gekoppelt, das ihn in etwa auf der Temperatur flüssigen Stickstoffs hält.

Zum Abhalten direkter γ - oder Neutronenstrahlung vom Detektor 4 sind zwischen Quelle 3 und Detektor 4 Abschirmungen 9, 10 angebracht. Sie bestehen aus Wolframblöcken 9, die Platten aus Cadmium 10 umgeben. Dem Detektor 4 nachgeschaltet ist eine Meß- und Auswertelektronik 5, die die vom Detektor 4 empfangenen Signale energiedispersiv zu einem Spektrum weiterverarbeitet. Durch den Einsatz schneller Verstärker und ADC werden Zählverluste so gering wie möglich gehalten. Die Elektronik 5 kann auch ei-

nen Spektrum weiterverarbeitet. Durch den Einsatz schneller Verstärker und ADC werden Zählverluste so gering wie möglich gehalten. Die Elektronik 5 kann auch ei-

nen Auswerterechner umfassen, der dann auch die Pulssequenzen des Neutronengenerators 3 steuern kann. Alternativ wird jedoch ein tragbarer Rechner (Laptop) in einiger Entfernung vom Analysengerät 1 benutzt.

Fig. 2 zeigt schematisch die geometrische Anordnung der Komponenten des Analysengeräts 1. Neutronengenerator 3, Detektor 4 sowie eine Halterung 7 für das Meßobjekt 2 sind an einem gemeinsamen Rahmen 6 befestigt. Justierzurrichtungen 12, 13 sorgen dafür, daß Neutronenquelle 3 und Detektor 4 relativ zum Objekt 2 entlang mehrerer Achsen verschoben werden können. Diese Justierungsmöglichkeit erlaubt eine Optimierung der Geometrie der Anordnung bezüglich Signalstärke und Störstrahlung. Zudem kann sie an wechselnde Objekte 2 angepaßt werden. Optional können auch Teile der Abschirmungen 9, 10 justierbar sein bzw. ausgetauscht werden. Neben den bevorzugten Materialien Wolfram und Cadmium können beispielsweise auch Blei und ⁶Li bzw. eine Kombination von Polyethylen und Bor eingesetzt werden. Ein Teil des gemeinsamen Rahmens 6, der Elektronik 5 und Kühlung 11 sind in einem Gehäuse 14 untergebracht.

Die Zahl der Kernreaktionen eines Elements hängt vom Neutronenfluß, den Wechselwirkungsquerschnitten der Elementatomkerne und deren Konzentration in der zu untersuchenden Substanz ab. Die Wechselwirkungsquerschnitte sind nicht nur von Element zu Element sehr unterschiedlich, sie hängen auch wesentlich von der Neutronenenergie ab.

Durch die Vielzahl der unterschiedlichen Wechselwirkungen treten gegenseitige Beeinflussungen und Störungen auf. Eine Lösung dafür ist die gepulste Arbeitsweise des Neutronengenerators und das Aufnehmen der γ -Spektren in Meßfenstern während und nach einer Pulsanregung. In Fig. 3 ist das Meßprinzip schematisch dargestellt. Der obere Teil zeigt einen Neutronenpuls 100 zwischen den relativen Zeitpunkten 0 und t1, der periodisch wiederholt wird. Typische Pulsdauern liegen im Bereich einiger Mikrosekunden, die Wiederholzeiten bei einigen Millisekunden. Im unteren Teil sind die Meßfenster 101, 102 dargestellt, während der Signale vom Detektor aufgenommen werden. Das erste Detektionsfenster 101 im dargestellten Zyklus stimmt zeitlich jeweils mit dem Neutronenpuls 100 überein. Allgemeiner gibt es wenigstens einen zeitlichen Überlappungsbereich zwischen den Zeitintervallen 100 und 101. An das erste Meßintervall 101 schließen sich ein oder mehrere weitere Meßfenster 102 an, die zeitlich nicht mit dem Neutronenpuls 100 überlappen. Im ersten Meßintervall 101 werden im wesentlichen γ -Quanten aufgrund von inelastischer Neutronenstreuung detektiert, während der späteren 102 im wesentlichen solche durch Neutroneneinfang, nachdem das betreffende Neutron bereits inelastisch gestreut wurde. Entsprechend können die Energiefenster für die jeweils zu detektierende γ -Strahlung gewählt werden, insbesondere, wenn gezielt die Anwesenheit bestimmter Substanzen bestätigt werden soll.

Fig. 4 zeigt das so gewonnene Spektrum der S-Lost Simulationssubstanz und die durch die im Rechner gespeicherte Identifikationssoftware identifizierten charakteristischen γ -Linien von Wasserstoff, Schwefel und Chlor (2). Das obere Spektrum stammt aus dem ersten Meßfenster 101 und basiert auf inelastischer Neutronenstreuung an Schwefelkernen, das untere aus einem weiteren 102. Es basiert auf Neutroneneinfang durch Chlorkerne mit anschließender Emission zweier charakteristischer Linien. Die Wandstärke des Eisenbehälters 22 betrug 15 mm.

In den Fig. 5 und 6 wurden jeweils im ersten Detektionsfenster 101 die charakteristischen Peaks von Arsen (2) für Lewesit (Simulationsgemisch) bzw. Phosphor und Fluor (2) von Sarin (Simulationsgemisch) identifiziert. Hier betrug die Behälterwandstärke jeweils 10 mm Stahl.

Diese Beispiele zeigen, auf welchem Weg die Substanzerkennung erfolgt. Das Vorhandensein oder Fehlen von Schlüsselementen führt zu typischen Mustern im Gammapektrum. Durch die Analyse bestimmter Energierregionen der Gammaspektren kann durch die Software entschieden werden, welche Substanz sich im Behälter befindet.

Auf dem PC-Bildschirm zeigt eine Graphik das Resultat der Messung und der analytischen Berechnungen an (Fig. 7). Für jedes Schlüsselement wird ein Balken dargestellt, der bei Überschreiten eines Grenzwertes signalisiert, daß dieses Element nachgewiesen wurde. Diese identifizierten Elemente werden in den oberen Zeilen der Graphik angezeigt. Gleichzeitig wird auch die daraus ermittelte Substanz angegeben. Ein spezielles Zeichen in der oberen rechten Ecke warnt, wenn ein chemischer Kampfstoff erkannt wurde.

Die Auswertung der Gammaspektren und die Anzeige der Resultate erfolgt während der Messung. Die Daten können abgespeichert werden und somit kann eine Analyse auch jederzeit zu einem späteren Zeitpunkt als die aktuelle Messung erfolgen.

Patentansprüche

1. Analysensystem zur Identifikation des Inhalts von Objekten, insbesondere von Sprengstoffen und/oder chemischen Kampfstoffen, mit einer Neutronenquelle, die Neutronen erzeugt, die auf das Objekt einwirken und die Emission von charakteristischen γ -Quanten aus Atomkernen des Inhalts des Objekts bewirken, mit einem Detektor zum Nachweis der emittierten γ -Quanten und einer Meß- und Signalverarbeitungselektronik zur Zuordnung der detektierten Signale zu bestimmten Atomkernen und zur Erkennung bestimmter chemischer Verbindungen, die diese Atomkerne enthalten, dadurch gekennzeichnet, daß das Analysensystem aus einem mobilen Rahmen besteht, an dem die Neutronenquelle und der Detektor sowie eine Halterung für das Objekt montiert sind, daß die Neutronenquelle ein Neutronengenerator ist, der als Target Deuterium enthält und durch periodisch wiederholten, gepulsten Bebeschuß des Targets Neutronenpulse erzeugt und so ansteuerbar ist, daß die Neutronenpulse im Energiebereich um 2,5 MeV von 1 μ s bis 1 ms Dauer, vorzugsweise zwischen 20 μ s und 50 μ s, emittiert und mit einer Zykluszeit zwischen 5 μ s und 100 ms wiederholt werden, daß der Detektor so ansteuerbar ist, daß er aus dem Objekt aufgrund von inelastischer Neutronenstreuung und Neutroneneinfang prompt emittierte γ -Quanten im Bereich zwischen 30 keV und 11 MeV innerhalb mindestens zweier aufeinanderfolgender zeitlicher Meßfenster im Zyklus nachweist, wobei das erste Meßfenster zeitlich mit dem Neutronenpuls zumindest teilweise überlappt und das sich anschließende zweite Meßfenster dies nicht tut, wodurch im ersten Meßfenster im wesentlichen γ -Quanten aufgrund von inelastischer Neutronenstreuung und im zweiten Meßfenster aufgrund von Neutroneneinfang detektiert werden.

2. Analysensystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Neutronengenerator und Detektor eine Abschirmung gegen direkte γ -Strahlung montiert ist.

3. Analysensystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abschirmung Wolfram enthält.

4. Analysensystem nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Neutronengenerator und Detektor eine Abschirmung gegen Neutronen montiert ist.

5. Analysensystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Abschirmung Cadmium enthält. 5

6. Analysensystem nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Abschirmung gegen direkte γ -Strahlung die Abschirmung gegen Neutronen umgibt. 10

7. Analysensystem nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für den Detektor eine Kühlung vorgesehen ist. 15

8. Analysensystem nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung flüssigen Stickstoff umfaßt. 10

9. Analysensystem nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Kühlung einen elektrisch betriebenen Refrigerator umfaßt. 20

10. Analysensystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß am Rahmen Justierzvorrichtungen für den Neutronengenerator und den Detektor vorgesehen sind. 15

11. Analysensystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die bestimmten Atomkerne wenigstens drei der Kerne von Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Aluminium, Fluor, Phosphor, Schwefel, Chlor oder Arsen umfassen. 25

12. Analysensystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Objekte metallummantelte Behälter sind. 30

13. Analysensystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Objekte metallummantelte Granaten oder Bomben sind. 35

14. Analysensystem nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Rahmen und weitere Komponenten zumindest teilweise in einem gemeinsamen, transportablen Gehäuse untergebracht sind. 40

15. Verfahren zur Identifikation des Inhalts von Objekten, insbesondere von Sprengstoffen und/oder chemischen Kampfstoffen, mit einer Neutronenquelle, die Neutronen erzeugt, die auf das Objekt einwirken und die Emission von charakteristischen γ -Quanten aus Atomkernen des Inhalts des Objekts bewirken, mit einem Detektor zum Nachweis der emittierten γ -Quanten und einer Meß- und Signalverarbeitungselektronik zur Zuordnung der detektierten Signale zu bestimmten Atomkernen und zur Erkennung bestimmter chemischer Verbindungen, die diese Atomkerne enthalten, dadurch gekennzeichnet, daß das Analysensystem aus einem mobilen Rahmen besteht, an dem die Neutronenquelle und der Detektor sowie eine Halterung für das Objekt montiert sind, daß die Neutronenquelle ein Neutronengenerator ist, der als Target Deuterium enthält und durch periodisch wiederholten, gepulsten Beschuß des Targets Neutronenpulse erzeugt und so angesteuert wird, daß die Neutronenpulse im Energiebereich um 2,5 MeV von 1 μ s bis 1 ms Dauer, vorzugsweise zwischen 20 μ s und 50 μ s, emittiert und mit einer Zykluszeit zwischen 5 μ s und 100 ms wiederholt werden, daß der Detektor so angesteuert wird, daß er aus dem Objekt aufgrund von inelastischer Neutronenstreuung und Neutroneneinfang prompt emittierte γ -Quanten im Bereich zwischen 30 keV und 11 MeV innerhalb mindestens zweier aufeinanderfolgender zeitlicher Meßfenster im Zyklus nachweist, wobei das erste Meßfenster zeitlich mit dem Neutronenpuls zumindest teilweise überlappt und das sich anschließende zweite Meßfenster dies nicht tut, wodurch im ersten Meßfenster im wesentlichen γ -Quanten aufgrund von inelastischer Neutronenstreuung und im zweiten Meßfenster

aufgrund von Neutroneneinfang detektiert werden. 5

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß es mit einem Analysensystem nach einem der Ansprüche 2 bis 14 durchgeführt wird. 10

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

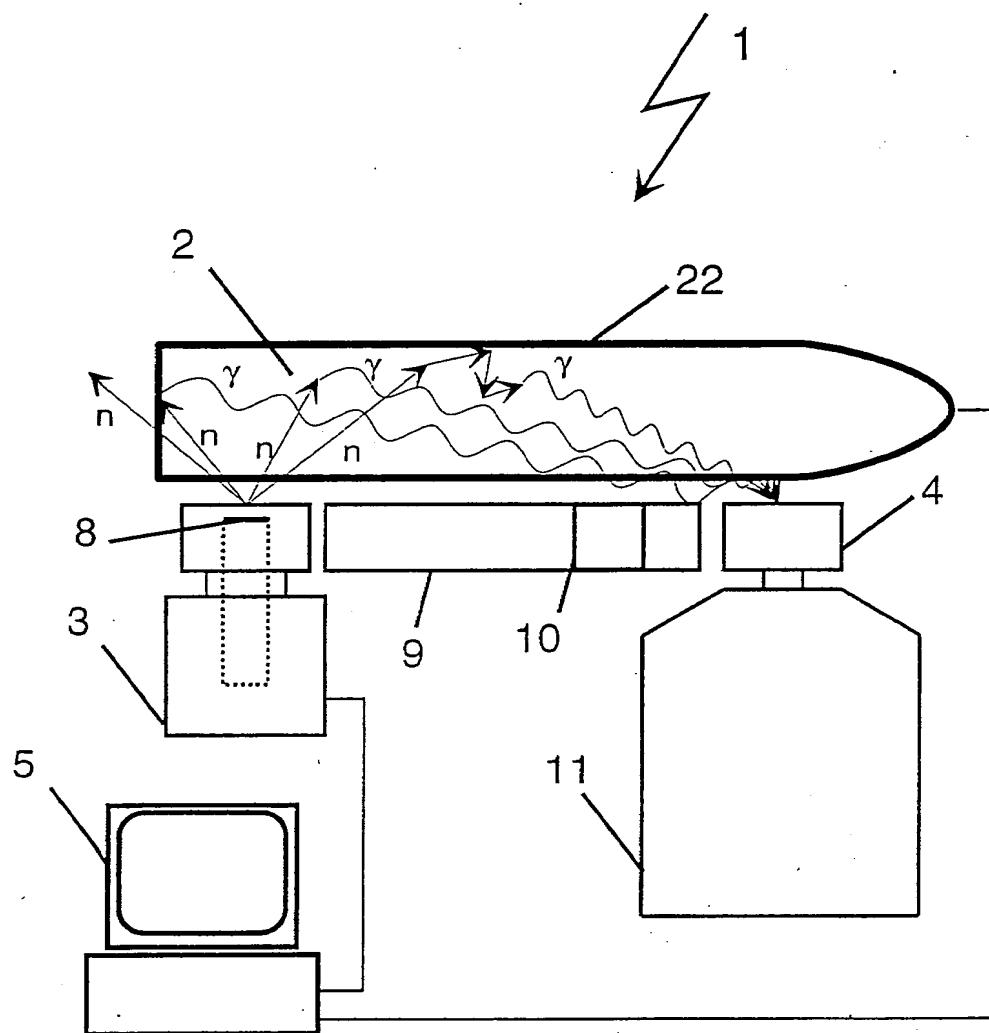


Fig. 2

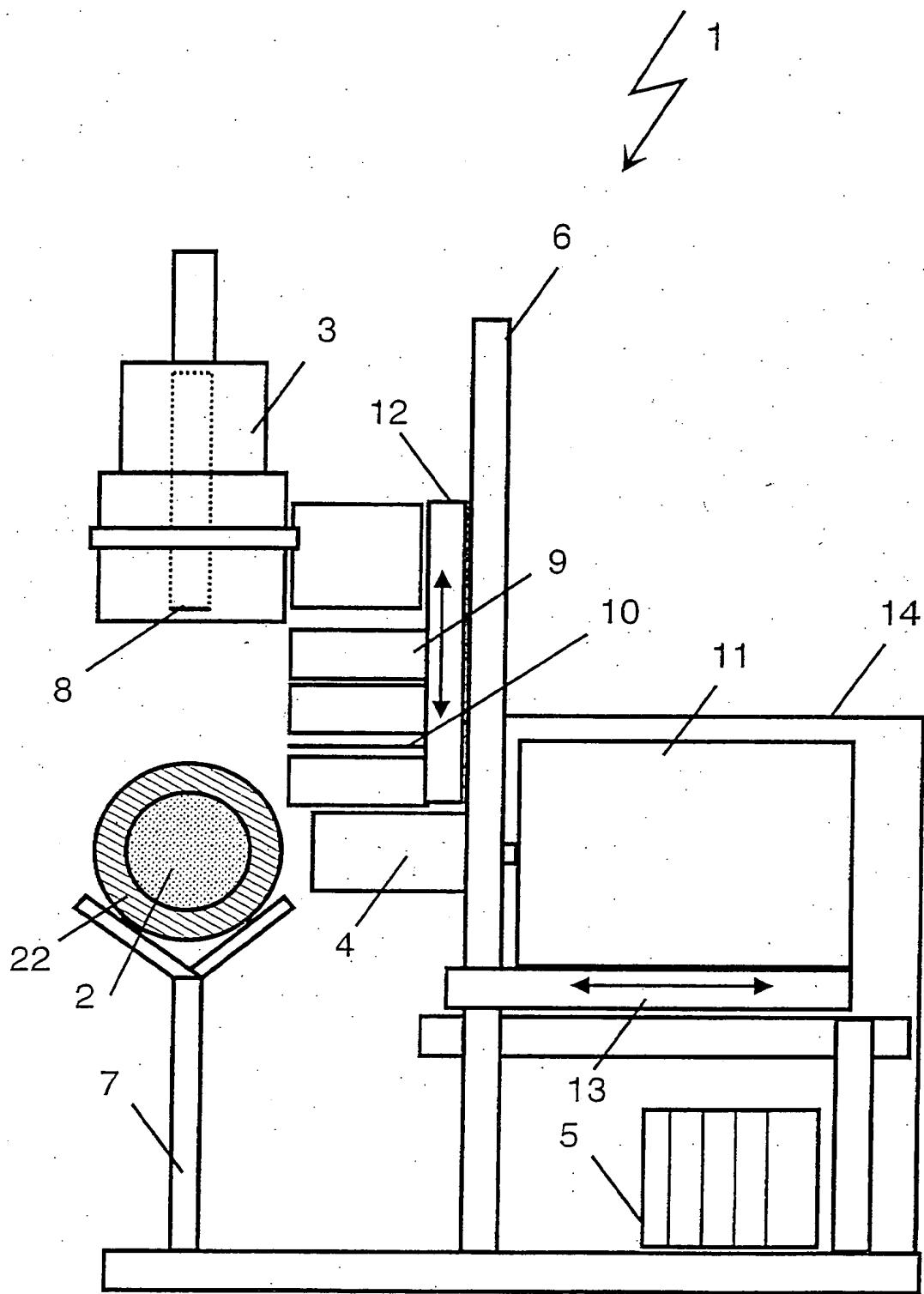
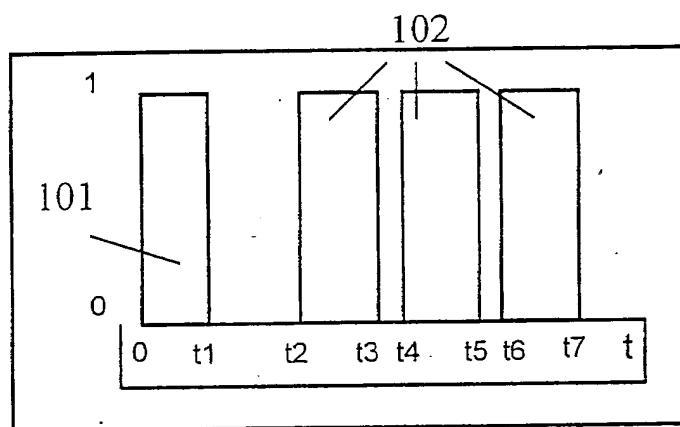
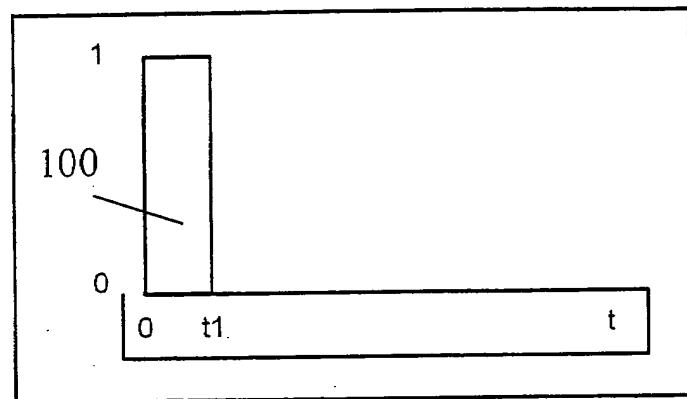
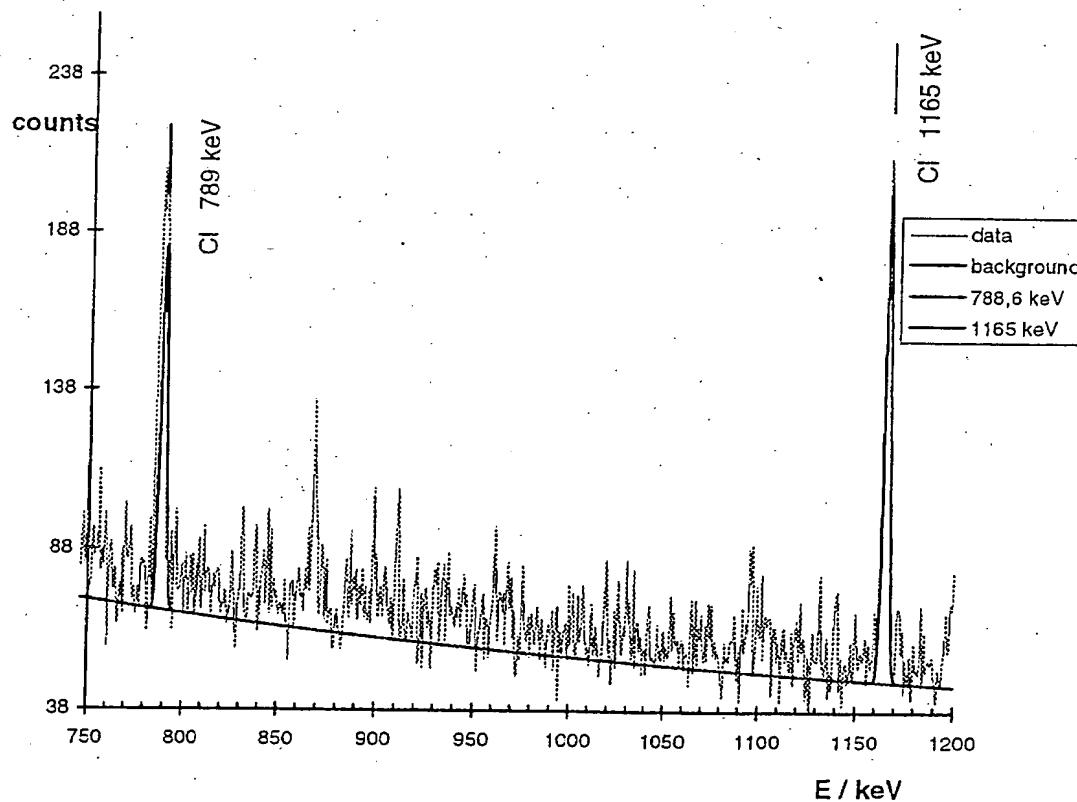
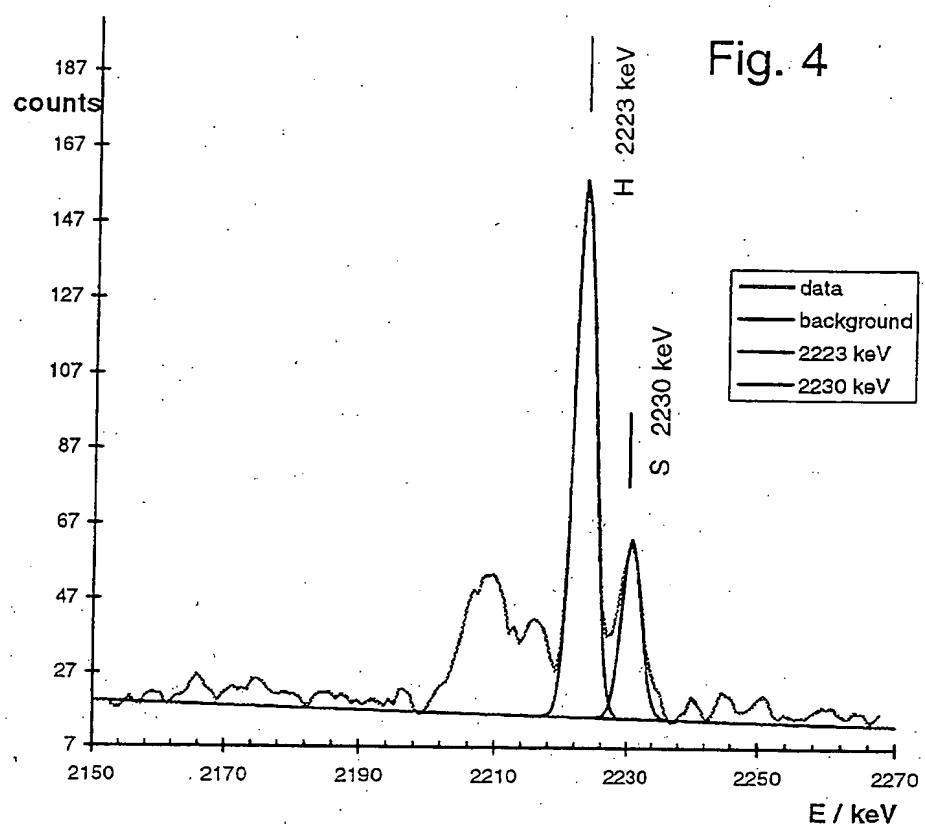


Fig. 3





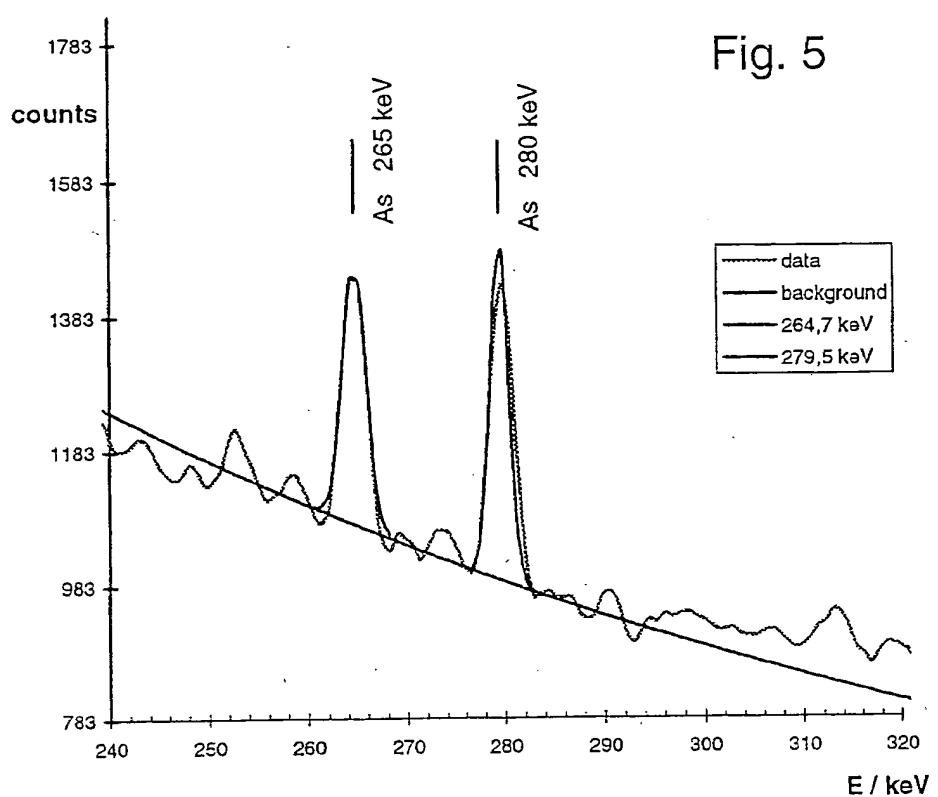


Fig. 6

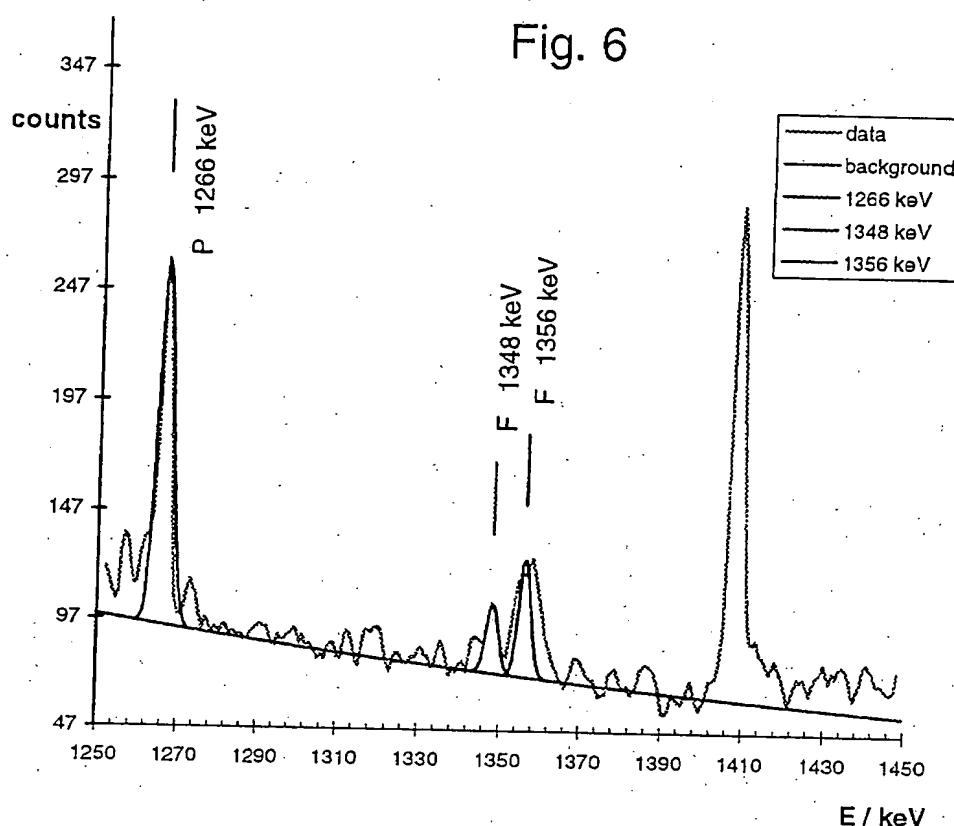
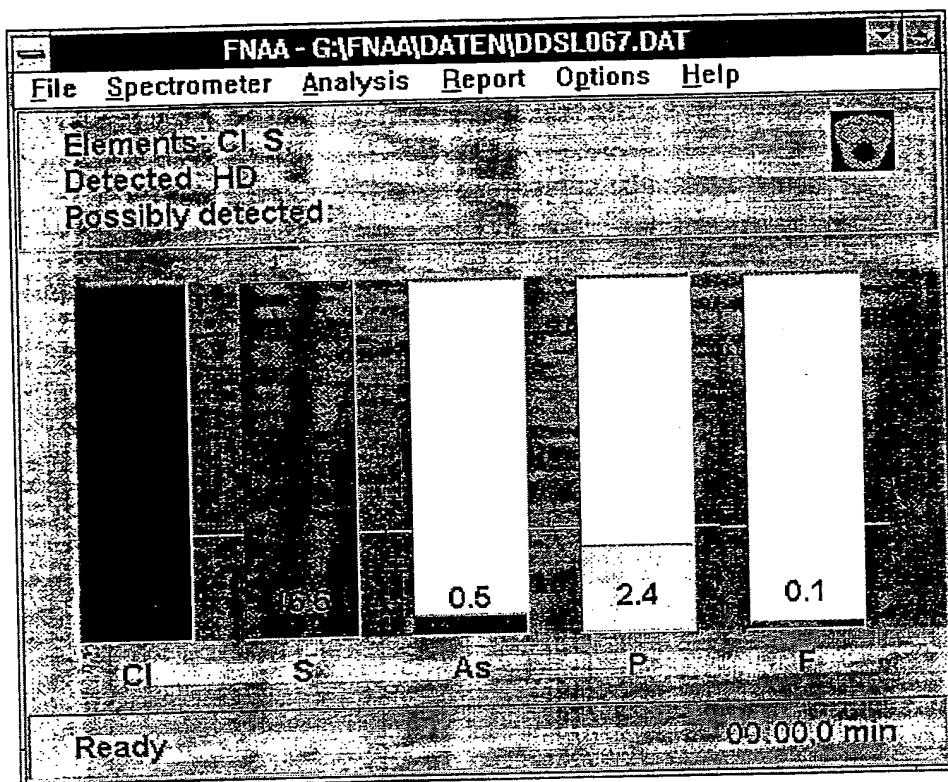


Fig.7



BEST AVAILABLE COPY